

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 15 627.1

**Anmeldetag:** 9. April 2002

**Anmelder/Inhaber:** Robert Bosch GmbH, Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor  
und Verfahren zum Betrieb einer Kraftstoffeinspritzan-  
lage

**IPC:** F 02 D 41/20

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprüng-  
lichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 22. April 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

HSE

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

**BEST AVAILABLE COPY**

Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart

Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungs-  
motor und Verfahren zum Betrieb einer  
Kraftstoffeinspritzanlage

Die Erfindung betrifft eine Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor, insbesondere einen Dieselmotor, mit zumindest zwei Zylindern, wobei die Kraftstoffeinspritzanlage zumindest zwei Aktorelemente aufweist, und wobei jedem Zylinder zumindest je ein Aktorelement zur Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder zugeordnet ist. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Betrieb einer solchen Kraftstoffeinspritzanlage.

Aus der DE 100 33 343 A1 ist eine Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor, insbesondere einen Dieselmotor bekannt, die eine Einspritzregelung zur Überwachung und/oder zum Lösen eines Konfliktes beim Ansteuern der Aktorelemente, insbesondere ein Konfliktmanagement sich überlagernder Einspritzverläufe von Piezoaktoren aufweist.

Bei Piezo-Common-Rail-Aktoren kann nur gleichzeitig eine Ansteuerflanke ausgeführt werden. Aus verbrennungstechnischen Gründen ist es aber erforderlich, Ansteuerungen komplementärer Bänke so zu applizieren, daß sich Einspritzungen überlagern. Dies ist dann mit der aus der DE 100 33 343 A1 bekannten Schaltungseinrichtung zur Verschaltung piezoelektrischer Elemente möglich, wenn die Lade-/Entladeflanken der piezoelektrischen Elemente keine Überlappung aufweisen. Bei überlappenden Flanken ist bei der aus der DE 100 33 343 A1 hervorgehenden Kraftstoffeinspritzanlage vorgesehen, daß die Ansteuerung mit niedriger Priorität (im folgenden niederpriori Ansteuerung genannt) verschoben oder verkürzt wird.

Gemäß der DE 100 33 343 A1 erfolgt jedoch nur eine Reaktion bei niederpriori Einspritzungen, nämlich eine Verkürzung der niederpriori Einspritzung derart, daß nicht ein Aktor geladen ist, während ein anderer geladen oder entladen werden soll, oder ein Verschieben der niederpriori Einspritzung derart, daß sich Flanken von Einspritzungen unterschiedlicher Aktoren nicht überlappen, oder ein Verzögern der niederpriori Einspritzung derart, daß sich Flanken unterschiedlicher Einspritzung nicht überlappen.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor und ein Verfahren zum Betrieb einer Kraftstoffeinspritzanlage so weiterzubilden, daß beliebige Kollisionen, insbesondere auch

Kollisionen von Einspritzungen der gleichen Priorität verhindert werden.

Diese Aufgabe wird bei einer Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor der eingangs beschriebenen Art dadurch gelöst, daß die Einspritzregelung die Aktorelemente in Abhängigkeit von Lade- und/oder Entlade-flanken der Einspritzelemente bei Einspritzungen früher und/oder später oder nicht ansteuert.

Die Aufgabe wird ferner durch eine Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor, insbesondere einen Dieselmotor, mit mindestens zwei Zylindern, wobei die Kraftstoffeinspritzanlage zumindest zwei piezoelektrische Elemente aufweist und jedem Zylinder zumindest je ein piezoelektrisches Element zur Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder durch Laden oder Entladen des piezoelektrischen Elements zugeordnet ist, wobei den piezoelektrischen Elementen eine einzige Versorgungseinheit zum Laden oder Entladen des piezoelektrischen Elementes zugeordnet ist, wobei die Kraftstoffeinspritzanlage ferner eine Einspritzregelung zur Überwachung einer möglichen Überschneidung eines Zeitintervalls, indem ein piezoelektrisches Element ge- oder entladen werden soll, mit einem Zeitintervall, in dem das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll, aufweist, und wobei zumindest zwei Einspritzungen unterschiedliche Prioritäten derart zugeordnet sind, daß eine Einspritzung eine höhere Priorität (hochpriore Einspritzung) als wenigstens einer Einspritzung (niederpriore Einspritzung) zugeordnet ist,

dadurch gelöst, daß die Einspritzregelung die wenigstens eine Einspritzung mit der geringeren Priorität und/oder die wenigstens eine Einspritzung mit der höheren Priorität abhängig von Lade- und/oder Endlade flanken der Einspritzelemente bei Einspritzungen nach früh und/oder nach spät verschiebt und/oder löscht.

Die Aufgabe wird weiterhin erfindungsgemäß durch ein Verfahren gemäß Anspruch 5 sowie ein Verfahren gemäß Anspruch 6 gelöst.

Bei einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, daß die Verschiebung abhängig von der Priorität der Einspritzung erfolgt.

Die Verschiebung kann aber auch bei einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung unabhängig von der Priorität erfolgen.

Die Verschiebung kann ferner abhängig vom Typ der Einspritzung, d.h. abhängig davon ob eine Voreinspritzung, eine Haupteinspritzung oder eine Nacheinspritzung vorliegt, erfolgen.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung erfolgt die Verschiebung abhängig von vorangehenden Verschiebungen.

Die Verschiebung kann ferner abhängig oder unabhängig von der Art der Überlappung wenigstens zweier Einspritzungen erfolgen.

Bei singulären Primärkollisionen, d.h. bei einer Überlappung zweier beliebiger Flanken mit gleicher oder verschiedener Priorität, wenn kein anderes Flankenpaar überlappt, sind dabei folgende Verschiebungen möglich:

- a) Verschieben der Flanke mit niedriger Priorität (niederpriorere Flanke) nach früh, oder
- b) Verschieben der niederprioreren Flanke nach spät, oder
- c) Verschieben der Flanke höherer Priorität (höherpriorere Flanke) nach früh, oder
- d) Verschieben der höherprioreren Flanke nach spät, oder
- e) Verschieben der höherprioreren Flanke nach früh, gleichzeitiges Verschieben der niederprioreren Flanke nach spät, oder
- f) Verschieben der höherprioreren Flanke nach spät, gleichzeitiges Verschieben der niederprioreren Flanke nach früh, oder
- g) Verschieben der höherprioreren Flanke nach spät und gleichzeitiges Verschieben der niederprioreren Flanke nach spät, oder
- h) Verschieben der höherprioreren Flanke nach früh, gleichzeitiges Verschieben der niederprioreren Flanke nach früh, wobei hierbei das Zeitintervall, in dem ein piezoelektrisches Element ge- oder entladen werden soll, nicht mit dem Zeitintervall überschneidet, in dem das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll.

Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß die nicht an der Überlappung beteiligten Flanken nach

früh oder spät verschoben werden oder auch unverschoben belassen werden. Beispielsweise kann die der hochprioreren Flanke zugeordnete Einspritzung oder die der niederprioreren Flanke zugeordneten Einspritzung - sofern jeweils kausal möglich, nicht ausgeführt werden.

Bei multiplen Primärkollisionen, d.h. bei einer zusammenhängenden Überlappung von drei oder vier beliebigen Flanken, wobei beispielsweise bei einer Überlappung von vier Flanken diese entweder zusammenhängend oder getrennt überlappen, erfolgt folgende Verschiebung:

- a) Jede der überlappenden Flanken kann nach früh oder spät verschoben werden.
- b) Nicht alle überlappenden Flanken müssen verschoben werden.
- c) Zusätzlich werden nicht an der Überlappung beteiligte Flanken nach früh oder spät verschoben.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen und der Zeichnung.

In der Zeichnung zeigen:

- Fig. 1 eine aus dem Stand der Technik bekannte Verschaltung piezoelektrischer Elemente;
- Fig. 2a das Laden eines piezoelektrischen Elementes;
- Fig. 2b das Laden eines piezoelektrischen Elementes;
- Fig. 2c das Entladen eines piezoelektrischen Elementes;

- Fig. 2d    das Entladen eines piezoelektrischen Elementes;
- Fig. 3    einen Ansteuerungs-IC;
- Fig. 4    den aus dem Stand der Technik bekannten zeitlichen Ablauf von Interrupts;
- Fig. 5    schematisch die Kombination überlappender Flanken zweier Einspritzungen;
- Fig. 6    schematisch zu Zuweisung der Prioritäten und
- Fig. 7    die Maßnahmen zur Verschiebung bei singulärer Primärkollisionen von Flanken.

Fig. 1 zeigt piezoelektrische Elemente 10, 20, 30, 40, 50, 60 sowie Mittel zu ihrer Ansteuerung. Dabei bezeichnet A einen Bereich in detaillierter Darstellung sowie B einen Bereich in undetaillierter Darstellung, deren Trennung mit einer gestrichelten Linie c angedeutet ist. Der detailliert dargestellte Bereich A umfaßt eine Schaltung zum Laden und Entladen der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60. In dem betrachteten Beispiel handelt es sich bei den piezoelektrischen Elementen 10, 20, 30, 40, 50 und 60 um Aktoren in Kraftstoffeinspritzventilen (insbesondere in sogenannten ACommon Rail Injektoren) eines Verbrennungsmotors. In der beschriebenen Ausführungsform werden zur unabhängigen Steuerung von sechs Zylindern innerhalb eines Verbrennungsmotors sechs piezoelektrische Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60 verwendet; für beliebige andere Zwecke könnte jedoch eine beliebige andere Anzahl piezoelektrischer Elemente geeignet sein.



Der undetailliert dargestellte Bereich B umfaßt eine Einspritzregelung F mit einem Steuergerät D und einen Ansteuerungs-IC E, die der Steuerung der Elemente innerhalb des detailliert dargestellten Bereichs A dient. Dem Ansteuerungs-IC E werden verschiedene Meßwerte von Spannungen und Strömen aus der gesamten restlichen Ansteuerschaltung des piezoelektrischen Elements zugeführt. Erfindungsgemäß sind der Steuerrechner D und der Ansteuerungs-IC E zur Regelung der Ansteuerspannungen sowie der Ansteuerzeiten für das piezoelektrischen Element ausgebildet. Der Steuerrechner D und/oder der Ansteuerungs-IC E sind ebenfalls zur Überwachung verschiedener Spannungen und Ströme der gesamten Ansteuerschaltung des piezoelektrischen Elements ausgebildet.

In der nachfolgenden Beschreibung werden zunächst die einzelnen Elemente innerhalb des detailliert dargestellten Bereichs A eingeführt. Es folgt eine allgemeine Beschreibung der Vorgänge des Ladens und Entladens der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60. Schließlich wird detailliert beschrieben, wie beide Vorgänge durch den Steuerrechner D und den Ansteuerungs-IC E gesteuert und überwacht werden.

Die piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60 sind in eine erste Gruppe G1 und eine zweite Gruppe G2 aufgeteilt, die jeweils drei piezoelektrische Elemente umfassen (d.h., piezoelektrische Elemente 10, 20 und 30 in der ersten Gruppe G1 bzw. piezoelektrische Elemente 40, 50 und 60 in der zweiten Gruppe G2). Die Gruppen G1 und G2 sind Bestandteile parallelgeschalte-

ter Schaltungsteile. Mit den Gruppenwahlschaltern 310, 320 ist festlegbar, welche der Gruppen G1, G2 der piezoelektrischen Elemente 10, 20 und 30 bzw. 40, 50 und 60 jeweils mit Hilfe einer gemeinsamen Lade- und Entladeeinrichtung entladen werden (für Ladevorgänge sind die Gruppenwahlschalter 310, 320, wie nachstehend noch näher beschrieben, jedoch ohne Bedeutung). Die piezoelektrischen Elemente 10, 20 und 30 der ersten Gruppe G1 sind auf einer Aktorbank und die piezoelektrischen Elemente 40, 50 und 60 in der zweiten Gruppe G2 sind auf einer weiteren Aktorbank angeordnet. Als Aktorbank wird dabei ein Block bezeichnet, in dem zwei oder mehr Aktorelemente, insbesondere piezoelektrische Elemente, fest abgeordnet, z.B. vergossen, sind.

Die Gruppenwahlschalter 310, 320 sind zwischen einer Spule 240 und den jeweiligen Gruppen G1 und G2 angeordnet (deren spulenseitigen Anschlüssen) und sind als Transistoren realisiert. Es sind Treiber 311, 321 implementiert, die von dem Ansteuerungs-IC E empfangene Steuersignale in Spannungen umformen, die nach Bedarf zum Schließen und Öffnen der Schalter wählbar sind.

Parallel zu den Gruppenwahlschaltern 310, 320 sind (als Gruppenwahldioden bezeichnete) Dioden 315 bzw. 325 vorgesehen. Wenn die Gruppenwahlschalter 310, 320 als MOSFETs bzw. IGBTs ausgeführt sind, können beispielsweise diese Gruppenwahldioden 315 und 325 durch die parasitären Dioden selbst gebildet sein. Während Ladevorgängen werden die Gruppenwahlschalter 310, 320 von den Dioden 315, 325 überbrückt. Die Funktionalität der Gruppen-

wahlschalter 310, 320 reduziert sich daher auf die Auswahl einer Gruppe G1, G2 der piezoelektrischen Elemente 10, 20 und 30 bzw. 40, 50 und 60 lediglich für einen Entladevorgang.

Innerhalb der Gruppen G1 bzw. G2 sind die piezoelektrischen Elemente 10, 20 und 30 bzw. 40, 50 und 60 jeweils als Bestandteile der parallelgeschalteten Piezozweige 110, 120 und 130 (Gruppe G1) und 140, 150 und 160 (Gruppe G2) angeordnet. Jeder Piezozweig umfaßt eine Serienschaltung bestehend aus einer ersten Parallelschaltung mit einem piezoelektrischen Element 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60, und einem (als Zweigwiderstand bezeichneten) Widerstand 13, 23, 33, 43, 53 bzw. 63 sowie einer zweiten Parallelschaltung mit einem als Transistor 11, 21, 31, 41, 51 bzw. 61 ausgeführten (als Zweigwahlschalter bezeichneten) Wahlschalter und einer (als Zweigdiode bezeichneten) Diode 12, 22, 32, 42, 52 bzw. 62).

Die Zweigwiderstände 13, 23, 33, 43, 53 bzw. 63 bewirken, daß das jeweils entsprechende piezoelektrische Element 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60 sich während und nach einem Ladevorgang kontinuierlich entlädt, da sie jeweils beide Anschlüsse der kapazitiven piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60 miteinander verbinden. Die Zweigwiderstände 13, 23, 33, 43, 53 bzw. 63 haben jedoch eine ausreichende Größe, um diesen Vorgang gegenüber den gesteuerten Lade- und Entladevorgängen langsam zu gestalten, wie nachstehend beschrieben. Daher ist die Ladung eines beliebigen piezoelektrischen

Elements 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60 innerhalb einer relevanten Zeit nach einem Ladevorgang als unveränderlich zu betrachten.

Die Zweigwahlschalter/Zweigdiodenpaare in den einzelnen Piezozweigen 110, 120, 130, 140, 150 bzw. 160, d.h., Wahlschalter 11 und Diode 12 in Piezozweig 110, Wahlschalter 21 und Diode 22 in Piezozweig 120 usw., sind realisierbar als elektronische Schalter (d.h. Transistoren) mit parasitären Dioden, beispielsweise MOSFETs bzw. IGBTs (wie vorstehend für die den Gruppenwahlschalter/Diodenpaare 310 und 315 bzw. 320 und 325 angegeben).

Mittels der Zweigwahlschalter 11, 21, 31, 41, 51 bzw. 61 ist festlegbar, welche der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60 jeweils mit Hilfe einer gemeinsamen Lade- und Entladeeinrichtung geladen werden: Geladen werden jeweils all diejenigen piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60, deren Zweigwahlschalter 11, 21, 31, 41, 51 bzw. 61 während des nachfolgend beschriebenen Ladevorgangs geschlossen sind. Gewöhnlich ist immer nur einer der Zweigwahlschalter geschlossen.

Die Zweigdioden 12, 22, 32, 42, 52 und 62 dienen der Überbrückung der Zweigwahlschalter 11, 21, 31, 41, 51 bzw. 61 während Entladevorgängen. Daher kann in dem betrachteten Beispiel für Ladevorgänge jedes einzelne piezoelektrische Element ausgewählt werden, während für Entladevorgänge entweder die erste Gruppe G1 oder die

zweite Gruppe G2 der piezoelektrischen Elemente 10, 20 und 30 bzw. 40, 50 und 60, bzw. beide ausgewählt werden müssen.

Zurückkommend auf die piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60 selbst, können die Zweigwahlpiezoanschlüsse 15, 25, 35, 45, 55 bzw. 65 entweder mit Hilfe der Zweigwahlschalter 11, 21, 31, 41, 51 bzw. 61 oder über die entsprechenden Dioden 12, 22, 32, 42, 52 bzw. 62 sowie in beiden Fällen zusätzlich über Widerstand 300 an Masse gelegt werden.

Mittels des Widerstands 300 werden die während des Ladens und Entladens der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60 zwischen den Zweigwahlpiezoanschlüssen 15, 25, 35, 45, 55 bzw. 65 und Masse fließenden Ströme gemessen. Eine Kenntnis dieser Ströme ermöglicht ein gesteuertes Laden und Entladen der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60. Insbesondere durch Schließen und Öffnen des Ladeschalter 220 bzw. Entladeschalters 230 in Abhängigkeit des Betrags der Ströme, ist es möglich, den Ladestrom bzw. Entladestrom auf vorgegebene Mittelwerte einzustellen und/oder zu verhindern, daß sie vorgegebene Maximalwerte und/oder Minimalwerte überschreiten bzw. unterschreiten.

In dem betrachteten Beispiel, ist für die Messung selbst noch eine Spannungsquelle 621 erforderlich, die eine Spannung von beispielsweise 5 V DC liefert, sowie ein Spannungsteiler in Form zweier Widerstände 622 und 623. Damit soll der Ansteuerungs-IC E (der die Messun-

gen durchführt) vor negative Spannungen geschützt werden, die andernfalls an Meßpunkt 620 auftreten könnten, und die mit dem Ansteuerungs-IC E nicht beherrschbar sind: Derartige negative Spannungen werden durch Addition mit einer von der genannten Spannungsquelle 621 und den Spannungsteiler-Widerständen 622 und 623 gelieferten positiven Spannungsanordnung verändert.

Der andere Anschluß des jeweiligen piezoelektrischen Elements 10, 20, 30, 40, 50 und 60, d.h. die jeweilige Gruppenwahlpiezoanschluß 14, 24, 34, 44, 54 bzw. 64, kann über den Gruppenwahlschalter 310 bzw. 320 oder über die Gruppenwahldiode 315 bzw. 325 sowie über eine Spule 240 und eine Parallelschaltung bestehend aus einem Ladeschalter 220 und einer Ladediode 221 an den Pluspol einer Spannungsquelle angeschlossen werden, sowie alternativ bzw. zusätzlich über den Gruppenwahlschalter 310 bzw. 320 oder über die Diode 315 bzw. 325 sowie über die Spule 240 und eine Parallelschaltung bestehend aus einem Entladeschalter 230 und einer Entladediode 231 an Masse gelegt werden. Ladeschalter 220 und Entladeschalter 230 sind beispielsweise als Transistoren realisiert, die über Treiber 222 bzw. 232 angesteuert werden.

Die Spannungsquelle umfaßt einen Kondensator 210. Der Kondensator 210 wird von einer Batterie 200 (beispielsweise einer Kraftfahrzeugbatterie) und einem nachgeschalteten Gleichspannungswandler 201 geladen. Der Gleichspannungswandler 201 formt die Batteriespannung (beispielsweise 12 V) in im wesentlichen beliebige an-

dere Gleichspannungen (beispielsweise 250 V) um, und lädt den Kondensator 210 auf diese Spannung auf. Die Steuerung des Gleichspannungswandlers 201 erfolgt über den Transistorschalter 202 und den Widerstand 203, der der Messung von am Messpunkt 630 abgegriffenen Strömen dient.

Zum Zwecke der Gegenkontrolle wird durch den Ansteuerungs-IC E sowie durch die Widerstände 651, 652 und 653 und beispielsweise eine 5 V Gleichspannungsquelle 654 eine weitere Strommessung am Meßpunkt 650 ermöglicht; des weiteren ist durch den Ansteuerungs-IC E sowie durch die spannungsteilenden Widerstände 641 und 642 eine Spannungsmessung am Meßpunkt 640 möglich.

Ein (als Totalentladungswiderstand bezeichneter) Widerstand 330, ein (als Stoppschalter bezeichneter) Schalter 331 sowie eine (als Totalentladungsdiode bezeichnete) Diode 332 dienen schließlich der Entladung der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60 (falls sie außerhalb des Normalbetreibers, wie nachstehend beschrieben, nicht durch den Anormalen-Entladevorgang entladen werden). Der Stoppschalter 331 wird vorzugsweise nach Anormalen-Entladevorgängen (zyklisches Entladen über Entladeschalter 230) geschlossen und legt dadurch die piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60 über die Widerstände 330 und 300 an Masse. Somit werden jegliche, eventuell in den piezoelektrischen Elementen 10, 20, 30, 40, 50 und 60 verbliebene Restspannungen beseitigt. Die Totalentladungs-

diode 332 verhindert ein Auftreten von negativen Spannungen an den piezoelektrischen Elementen 10, 20, 30, 40, 50 und 60, die unter Umständen durch die negativen Spannungen beschädigt werden könnten.

Das Laden und Entladen aller piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60, bzw. eines bestimmten piezoelektrischen Elements 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60, erfolgt mit Hilfe einer einzigen (allen Gruppen und ihren piezoelektrischen Elementen gemeinsamen) Lade- und Entladeeinrichtung. In dem betrachteten Beispiel umfaßt die gemeinsame Lade- und Entladeeinrichtung die Batterie 200, den Gleichspannungswandler 201, den Kondensator 210, den Ladeschalter 220 und den Entladeschalter 230, Ladediode 221 und Entladediode 231 sowie die Spule 240.

Das Laden und Entladen eines jeden piezoelektrischen Elements erfolgt auf die gleiche Art und Weise und wird nachfolgend unter Bezugnahme auf lediglich das erste piezoelektrische Element 10 erläutert.

Die während der Lade- und Entladevorgänge auftretenden Zustände werden mit Bezug auf die Figuren 2A bis 2D erläutert, von denen die Figuren 2A und 2B das Laden des piezoelektrischen Elements 10, sowie die Figuren 2C und 2D das Entladen des piezoelektrischen Elements 10 veranschaulichen.

Die Steuerung der Auswahl eines oder mehrerer zu ladender bzw. zu entladender piezoelektrischer Elemente 10,



20, 30, 40, 50 und 60, der im folgenden beschriebene Ladevorgang sowie der Entladevorgang erfolgt durch den Ansteuerungs-IC E und das Steuergerät D durch Öffnen bzw. Schließen eines oder mehrerer der oben eingeführten Schalter 11, 21, 31, 41, 51, 61; 310, 320; 220, 230 und 331. Die Wechselwirkungen zwischen den Elementen innerhalb des detailliert dargestellten Bereichs A einerseits sowie des Ansteuerungs-IC E und des Steuerrechners D andererseits wird nachfolgend noch näher erläutert.

In bezug auf den Ladevorgang, muß zunächst ein aufzuladendes piezoelektrisches Element 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60 ausgewählt werden. Um lediglich das erste piezoelektrische Element 10 zu laden, wird der Zweigwahlschalter 11 des ersten Zweiges 110 geschlossen, während alle übrigen Zweigwahlschalter 21, 31, 41, 51, und 61 geöffnet bleiben. Um ausschließlich ein beliebiges anderes piezoelektrisches Element 20, 30, 40, 50, 60 zu laden, bzw. um mehrere gleichzeitig zu laden, würde dessen/deren Auswahl durch Schließen der entsprechenden Zweigwahlschalter 21, 31, 41, 51, und/oder 61 erfolgen.

Sodann kann der Ladevorgang selbst erfolgen:

Innerhalb des betrachteten Beispiels ist für den Ladevorgang im allgemeinen eine positive Potentialdifferenz zwischen dem Kondensator 210 und Gruppenwahlpiezoanschluß 14 des ersten piezoelektrischen Elements 10 erforderlich. Solange jedoch Ladeschalter 220 und Entladeschalters 230 geöffnet sind, erfolgt kein Laden

bzw. Entladen des piezoelektrischen Elements 10. In diesem Zustand befindet sich die in Fig. 1 abgebildete Schaltung in einem stationären Zustand, d.h. das piezoelektrische Element 10 behält seinen Ladungszustand im wesentlichen unverändert bei, wobei keine Ströme fließen.

Zum Laden des ersten piezoelektrischen Elements 10 wird Schalter 220 geschlossen. Theoretisch könnte das erste piezoelektrische Element 10 allein dadurch geladen werden. Dies würde jedoch zu großen Strömen führen, die die betreffenden Elemente beschädigen könnten. Daher werden die auftretenden Ströme am Meßpunkt 620 gemessen und Schalter 220 wird wieder geöffnet sobald die erfaßten Ströme einen bestimmten Grenzwert überschreiten. Um auf dem ersten piezoelektrischen Element 10 eine beliebige Ladung zu erreichen, wird daher Ladeschalter 220 wiederholt geschlossen und geöffnet, während Entladeschalter 230 geöffnet bleibt.

Bei näherer Betrachtung ergeben sich bei geschlossenem Ladeschalter 220 die in Fig. 2A dargestellten Verhältnisse, d.h. es entsteht eine geschlossene Schaltung umfassend eine Reihenschaltung bestehend aus dem piezoelektrischen Element 10, Kondensator 210 und der Spule 240, wobei in der Schaltung ein Strom  $i_{LE}(t)$  fließt, wie in Fig. 2A durch Pfeile angedeutet. Aufgrund dieses Stromflusses werden sowohl dem Gruppenwahlpiezoanschluß 14 des ersten piezoelektrischen Elements 10 positive Ladungen zugeführt als auch in der Spule 240 Energie gespeichert.

Wenn der Ladeschalter 220 kurz (beispielsweise einige  $\mu\text{s}$ ) nach dem Schließen öffnet, ergeben sich die in Fig. 2B dargestellten Verhältnisse: es entsteht eine geschlossene Schaltung umfassend eine Reihenschaltung bestehend aus dem piezoelektrischen Element 10, Entladediode 231 und Spule 240, wobei in der Schaltung ein Strom  $i_{LA}(t)$  fließt, wie in Fig. 2B durch Pfeile angedeutet. Aufgrund dieses Stromflusses fließt in der Spule 240 gespeicherte Energie in das piezoelektrische Element 10. Entsprechend der Energiezufuhr an das piezoelektrische Element 10, erhöht sich die in diesem auftretende Spannung und vergrößern sich dessen Außenabmessungen. Bei erfolgter Energieübertragung von der Spule 240 an das piezoelektrische Element 10, ist der in Fig. 1 dargestellte und bereits beschriebene stationäre Zustand der Schaltung wieder erreicht.

Zu diesem Zeitpunkt bzw. früher oder später (je nach gewünschtem Zeitprofil des Ladevorgangs), wird Ladeschalter 220 erneut geschlossen und wieder geöffnet, so daß die vorstehend beschriebenen Vorgänge erneut ablaufen. Aufgrund des erneuten Schließens und erneuten Öffnens des Ladeschalters 220 erhöht sich die in dem piezoelektrischen Element 10 gespeicherte Energie (die in dem piezoelektrischen Element 10 bereits gespeicherte Energie und die neu zugeführte Energie summieren sich), und die an dem piezoelektrischen Element 10 auftretenden Spannung erhöht sich und dessen Außenabmessungen vergrößern sich entsprechend.

Werden das oben erwähnte Schließen und Öffnen des Ladeschalters 220 vielfach wiederholt, so erfolgt die Erhöhung der an dem piezoelektrischen Element 10 auftretenden Spannung sowie die Ausdehnung des piezoelektrischen Elements 10 stufenweise.

Wenn Ladeschalter 220 eine vorgegebene Anzahl von Malen geschlossen und geöffnet wurde und/oder das piezoelektrische Element 10 den gewünschten Ladezustand erreicht hat, wird das Laden des piezoelektrischen Elements durch Offenlassen des Ladeschalters 220 beendet.

In bezug auf den Entladevorgang, werden in dem betrachteten Beispiel die piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60 in Gruppen (G1 und/oder G2) wie nachfolgend beschrieben entladen:

Zunächst werden der Gruppenwahlschalter 310 und/oder 320 der Gruppe G1 und/oder G2, deren piezoelektrische Elemente zu entladen sind, geschlossen (die Zweigwahlschalter 11, 21, 31, 41, 51, 61 haben keinen Einfluß auf die Auswahl der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50, 60 für den Entladevorgang, da sie in diesem Fall durch die Dioden 12, 22, 32, 42, 52 und 62 überbrückt werden). Um das piezoelektrische Element 10 als Teil der ersten Gruppe G1 zu entladen, wird daher der erste Gruppenwahlschalter 310 geschlossen.

Wenn der Entladeschalter 230 geschlossen ist, ergeben sich die in Fig. 2C dargestellten Verhältnisse: es entsteht eine geschlossene Schaltung umfassend eine Rei-

henschaltung bestehend aus dem piezoelektrischen Element 10 und der Spule 240, wobei in der Schaltung ein Strom  $i_{EE}(t)$  fließt, wie in Fig. 2C durch Pfeile angedeutet. Aufgrund dieses Stromflusses wird die in dem piezoelektrischen Element gespeicherte Energie (ein Teil davon) in die Spule 240 übertragen. Entsprechend der Energieübertragung von dem piezoelektrischen Element 10 zur Spule 240, sinkt die an dem piezoelektrischen Element 10 auftretende Spannung und verringern sich dessen Außenabmessungen.

Wenn der Entladeschalter 230 kurz (beispielsweise, einige  $\mu s$ ) nach dem Schließen öffnet, ergeben sich die in Fig. 2D dargestellten Verhältnisse: es entsteht eine geschlossene Schaltung umfassend eine Reihenschaltung bestehend aus dem piezoelektrischen Element 10, Kondensator 210, Ladediode 221 und der Spule 240, wobei in der Schaltung ein Strom  $i_{EA}(t)$  fließt, wie in Fig. 2D durch Pfeile angedeutet. Aufgrund dieses Stromflusses wird in der Spule 240 gespeicherte Energie in den Kondensator 210 rückgeführt. Bei erfolgter Energieübertragung von der Spule 240 in den Kondensator 210, ist der in Fig. 1 dargestellte und bereits beschriebene stationäre Zustand der Schaltung wieder erreicht.

Zu diesem Zeitpunkt bzw. früher oder später (je nach gewünschtem Zeitprofil des Entladevorgangs), wird Entladeschalter 230 erneut geschlossen und wieder geöffnet, so daß die vorstehend beschriebenen Vorgänge erneut ablaufen. Aufgrund des erneuten Schließens und erneuten Öffnens des Entladeschalters 230 nimmt die in

dem piezoelektrischen Element 10 gespeicherte Energie weiter ab, und die an dem piezoelektrischen Element auftretenden Spannung und dessen Außenabmessungen nehmen ebenfalls entsprechend ab.

Werden das oben erwähnte Schließen und Öffnen des Entladeschalters 230 vielfach wiederholt, so erfolgt die Abnahme der an dem piezoelektrischen Element 10 auftretenden Spannung sowie der Ausdehnung des piezoelektrischen Elements 10 stufenweise.

Wenn Entladeschalter 230 eine vorgegebene Anzahl von Malen geschlossen und geöffnet wurde und/oder das piezoelektrische Element den gewünschten Ladezustand erreicht hat, wird das Entladen des piezoelektrischen Elements durch Offenlassen des Entladeschalters 230 beendet.

Die Wechselwirkung zwischen dem Ansteuerungs-IC E und dem Steuerrechner D einerseits sowie den Elementen innerhalb des detailliert dargestellten Bereichs A andererseits erfolgt mit Hilfe von Steuersignalen, die über Zweigwahlsteuerleitungen 410, 420, 430, 440, 450, 460, Gruppenwahlsteuerleitungen 510, 520, Stoppschaltersteuerleitung 530, Ladeschaltersteuerleitung 540 und Entladeschaltersteuerleitung 550 sowie Steuerleitung 560 Elementen innerhalb des detailliert dargestellten Bereichs A von dem Ansteuerungs-IC E zugeführt werden. Andererseits werden an den Meßpunkten 600, 610, 620, 630, 640, 650 innerhalb des detailliert dargestellten Bereichs A Sensorsignale erfaßt, die dem Ansteuerungs-

IC E über die Sensorleitungen 700, 710, 720, 730, 740, 750 zugeführt werden.

Zur Auswahl der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60 für die Ausführung von Lade- bzw. Entladevorgängen einzelner oder mehrerer piezoelektrischer Elemente 10, 20, 30, 40, 50, 60 durch Öffnen und Schließen der entsprechenden Schalter wie vorstehend beschrieben, werden an die Transistorbasen mittels der Steuerleitungen Spannungen angelegt bzw. nicht angelegt. Mittels der Sensorsignale erfolgt insbesondere eine Bestimmung der sich ergebenden Spannung der piezoelektrischen Elemente 10, 20 und 30, bzw. 40, 50 und 60 anhand der Meßpunkte 600 bzw. 610 sowie der Lade- und Entladeströme anhand des Meßpunkts 620.

In Fig.3 sind einige der in dem Ansteuerungs-IC E enthaltenen Bauelemente angegeben: Eine Logik-Schaltung 800, Speicher 810, Digital-Analog-Umsetzerbaustein 820 sowie Komparatorbaustein 830. Ferner ist angegeben, daß der (für Steuersignale verwendete) schnelle Parallelbus 840 mit der Logik-Schaltung 800 des Ansteuerungs-IC E verbunden ist, während der langsamere serielle Bus 850 mit dem Speicher 810 verbunden ist. Die logische Schaltung 800 ist mit dem Speicher 810, mit dem Komparatorbaustein 830 sowie mit den Signalleitungen 410, 420, 430, 440, 450 und 460; 510 und 520; 530, 540, 550 und 560 verbunden. Der Speicher 810 ist mit der logischen Schaltung 800 sowie mit dem Digital-Analog-Umsetzerbaustein 820 verbunden. Des weiteren ist der Digital-Analog-Umsetzerbaustein 820 mit dem Komparator-

baustein 830 verbunden. Darüber hinaus ist der Komparatorbaustein 830 mit den Sensorleitungen 700 und 710, 720, 730, 740 und 750 und - wie bereits erwähnt - mit der Logik-Schaltung 800 verbunden.

Die Einspritzung der piezoelektrischen Elemente wird durch eine Lade- und eine Entladeflanke gekennzeichnet, wie sie beispielsweise aus Fig. 4 hervorgeht. Im folgenden wird die Ladeflanke als Beginnflanke B, die Entladeflanke als Endeflanke E bezeichnet. Wie vorstehend erwähnt, ist es bei Piezoelementen eine konzeptbedingte Restriktion, daß nur eine Lade- oder Entladeflanke gleichzeitig stattfinden kann. Daher muß bei einer erkannten Überlappung nach einer definierten Strategie eine Reaktion erfolgen. Zunächst wird von einer beliebigen Kombination von überlappenden Flanken zweier Einspritzungen ausgegangen, wie sie in Fig. 5 schematisch dargestellt ist.

Die möglichen Strategien sind beliebige Kombinationen aus folgenden Maßnahmen:

1. Den vier Flanken werden beliebige Prioritäten zugewiesen, wie es aus Fig. 6 hervorgeht. Dabei können alle vier Flanken entweder
  - a) nur verschiedene oder
  - b) teilweise verschiedene oder
  - c) gleiche Priorität aufweisen.
2. Nachfolgend wird eine Maßnahme bei singulären Primärkollisionen beschrieben. Als singuläre Primärkol-



lision wird eine Überlappung zweier beliebiger Flanken mit gleicher oder verschiedener Priorität bezeichnet, wenn gleichzeitig kein anderes Flankenpaar überlappt. Dabei sind folgende Verschiebungen möglich:

- a) Verschieben der niederprioren Flanke nach früh,  
oder
- b) Verschieben der niederprioren Flanke nach spät,  
oder
- c) Verschieben der höherprioren Flanke nach früh, oder
- d) Verschieben der höherprioren Flanke nach spät, oder
- e) Verschieben der höherprioren Flanke nach früh,  
gleichzeitiges Verschieben der niederprioren  
Flanke nach spät, oder
- f) Verschieben der höherprioren Flanke nach spät,  
gleichzeitiges Verschieben der höherprioren Flanke  
nach früh, oder
- g) Verschieben der höherprioren Flanke nach spät,  
gleichzeitiges Verschieben der niederprioren  
Flanke nach spät, oder
- h) Verschieben der höherprioren Flanke nach früh,  
gleichzeitiges Verschieben der niederprioren  
Flanke nach früh,

so daß sich das Zeitintervall, in dem ein piezoelektrisches Element ge- oder entladen werden soll, nicht mit dem Zeitintervall überschneidet, in dem

das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll.

Wenn die Priorität beider Flanken gleich ist, können in beliebiger Weise die höher- oder die niederpriorere Einspritzung nach früh oder spät verschoben werden.

Ist die nach früh verschobene Flanke eine Beginnflanke, so entspricht die Maßnahme einer Verschiebung der Einspritzung nach früh, sofern die zugehörige Endeflanke mit gleichem Betrag nach früh verschoben wird.

Ist die nach früh verschobene Flanke eine Endeflanke, so entspricht die Maßnahme einer Verkürzung der Einspritzdauer, sofern die zugehörige Beginnflanke unverändert bleibt.

Ist die nach spät verschobene Flanke eine Beginnflanke, so entspricht die Maßnahme einer Verschiebung der Einspritzung nach spät, sofern die zugehörige Endeflanke mit gleichem Betrag nach spät verschoben wird.

Ist die nach spät verschobene Flanke eine Endeflanke, so entspricht die Maßnahme einer Verlängerung der Einspritzdauer, sofern die zugehörige Beginnflanke unverändert bleibt. Außerdem ist zusätzlich möglich, die nicht an der Überlappung beteiligten Flanken nach früh oder spät zu verschieben. Alle möglichen Kombinationen sind in Fig. 7 dargestellt.

Werden beide überlappenden Flanken nach früh verschoben, muß der Grad der Verschiebung unterschiedlich sein, gleiches gilt für das Verschieben beider überlappender Flanken nach spät.

### 3. Maßnahmen bei singulärer Sekundärkollision

Als singuläre Sekundärkollision wird eine aufgrund der Verschiebung der Primärkollision resultierende Überlappung zweier beliebiger Flanken mit gleicher oder verschiedener Priorität bezeichnet, wenn gleichzeitig kein anderes Flankenpaar überlappt. Dabei sind dieselben Maßnahmen zur Verschiebung wie bei einer singulären Primärkollision möglich. Die Maßnahme zur Verschiebung bei singulärer Sekundärkollision sollte so gewählt werden, daß keine weitere Folgekollision eintritt. Ansonsten ist eine Tertiär- oder höherwertige Kollision möglich, auf die entsprechend zur Primär- und Sekundärkollision zu reagieren ist.

### 4. Maßnahmen bei multipler Primärkollision

Als multiple Primärkollision wird eine zusammenhängende Überlappung von drei oder vier beliebigen Flanken bezeichnet. Bei einer Überlappung von vier Flanken können diese entweder zusammenhängend oder getrennt überlappen. Dabei sind beliebige Maßnahmen zur Verschiebung unter Einhaltung der folgenden Randbedingungen möglich:

- a) Jede der überlappenden Flanken kann nach früh oder spät verschoben werden;
- b) nicht alle überlappenden Flanken müssen verschoben werden.
- c) Nach der Verschiebung sind die zuvor überlappenden Flanken überlappungsfrei, so daß sich das Zeitintervall, in dem ein piezoelektrisches Element ge- oder entladen werden soll, nicht mit dem Zeitintervall überschneidet, in dem das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll.
- d) Zusätzlich können nicht an der Überlappung beteiligte Flanken nach früh oder spät verschoben werden.

##### 5. Maßnahmen bei multipler Sekundärkollision

Als multiple Sekundärkollision wird eine aus der Maßnahme zur Verschiebung einer Primärkollision resultierende zusammenhängende Überlappung von drei oder vier beliebigen Flanken bezeichnet. Dabei sind dieselben Maßnahmen wie bei multipler Primärkollision möglich. Die Maßnahme bei multipler Sekundärkollision sollte sinnvoll sein, damit nicht eine weitere Folgekollision eintritt. Ansonsten ist eine Tertiär- oder höherwertige Kollision möglich, auf die analog zur Primär- und Sekundärkollision zu reagieren ist.

6. Varianten dieser Maßnahmen sind möglich, wobei neben den unter Punkt 2. bis 5. genannten Maßnahmen zur Verschiebung noch folgendes zu berücksichtigen ist:

- a) Bei der Auswahl der Verschiebungen werden nicht nur die Prioritäten, sondern auch die Typen der kollidierenden Einspritzungen berücksichtigt;
- b) bei der Auswahl der Verschiebungen werden die Verschiebungen der Vergangenheit bei derselben und/oder anderen Überlappungsart als der betrachteten berücksichtigt;
- c) die der hochprioren Flanke zugeordnete Einspritzung wird, sofern kausal möglich, nicht durchgeführt;
- d) die der niederprioren Flanke zugeordnete Einspritzung wird, sofern kausal möglich, nicht ausgeführt;
- e) es wird eine oder mehrere Einspritzungen hinzugefügt, damit z.B. bei einer Verkürzung die Sollmenge erreicht wird;
- f) wird eine Einspritzung nach früh oder spät verschoben und/oder verkürzt bzw. verlängert, so wird/werden eine/mehrere andere, von der Überlappung nicht betroffene Einspritzung(en) in gleicher oder anderer Art und Weise verändert, so kann beispielsweise bei einer veränderten ersten Nacheinspritzung die dann nicht betroffene zweite Nacheinspritzung verändert werden. Die Einspritzung kann unter Umständen auch nicht ausgeführt werden. Außerdem ist es denkbar, daß sich Flanken von mehr als zwei Einspritzungen überlappen bzw.

daß durch eine Maßnahme eine Kollision mit einer weiteren Einspritzung folgt. Auch hier sind die oben unter Punkt 4. a) bis d) beschriebenen Maßnahmen zur Verschiebung möglich.

Patentansprüche

1. Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor, insbesondere einen Dieselmotor, mit zumindest zwei Zylindern, wobei die Kraftstoffeinspritzanlage zumindest zwei Aktorelemente aufweist, und wobei jedem Zylinder zumindest je ein Aktorelement zur Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder zugeordnet ist, und wobei die Kraftstoffeinspritzanlage eine Einspritzregelung zur Überwachung und/oder zum Lösen eines Konfliktes beim Ansteuern der Aktorelemente aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß die Einspritzregelung die Aktorelemente in Abhängigkeit von Lade- und/oder Entladeflanken der Einspritzelemente bei Einspritzungen früher und/oder später oder nicht ansteuert.
2. Kraftstoffeinspritzanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Aktorelemente piezoelektrische Elemente sind.
3. Kraftstoffeinspritzanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Aktorelemente Magnetventile sind.

4. Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor, insbesondere einen Dieselmotor, mit zumindest zwei Zylindern, wobei die Kraftstoffeinspritzanlage zumindest zwei piezoelektrische Elemente aufweist und jedem Zylinder zumindest je ein piezoelektrisches Element zur Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder durch Laden oder Entladen des piezoelektrischen Elementes zugeordnet ist, und wobei den piezoelektrischen Elementen eine einzige Versorgungseinheit zum Laden oder Entladen des piezoelektrischen Elementes zugeordnet ist, wobei die Kraftstoffeinspritzanlage eine Einspritzregelung zur Überwachung einer möglichen Überschneidung eines Zeitintervalls, in dem ein piezoelektrisches Element ge- oder entladen werden soll, mit einem Zeitintervall, in dem das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll, aufweist, und wobei zumindest zwei Einspritzungen unterschiedliche Prioritäten derart zugeordnet sind, daß eine Einspritzung eine höhere Priorität (hochpriorie Einspritzung) als wenigstens einer anderen Einspritzung (niederpriorie Einspritzung) zugeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Einspritzregelung die Einspritzung gleicher oder unterschiedlicher Priorität in Abhängigkeit von Lade- und/oder Entladeflanken der Einspritzelemente bei Einspritzungen nach früh und/oder nach spät verschiebt und/oder löscht so, daß ein piezoelektrisches Element nicht geladen ist, wenn das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll.



5. Verfahren zum Betrieb einer Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor mit zumindest zwei Zylindern, insbesondere zum Betrieb einer Kraftstoffeinspritzanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Kraftstoffeinspritzanlage zumindest zwei Aktoelemente aufweist, und wobei jedem Zylinder zumindest je ein Aktoelement zur Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder zugeordnet ist, und wobei mögliche Konflikte beim Ansteuern der Aktoelemente überwacht und/oder gelöst werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Aktoelemente in Abhängigkeit vom zeitlichen Verlauf von Lade- und/oder Entladeflanken der Einspritzelemente bei Einspritzungen früher und/oder später oder überhaupt nicht angesteuert werden.
6. Verfahren zum Betrieb einer Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor mit zumindest zwei Zylindern, insbesondere zum Betrieb einer Kraftstoffeinspritzanlage nach Anspruch 4, wobei die Kraftstoffeinspritzanlage zumindest zwei piezoelektrische Elemente aufweist und jedem Zylinder zumindest je ein piezoelektrisches Element zur Einspritzung von Kraftstoff in dem Zylinder durch Laden oder Entladen des piezoelektrischen Elementes zugeordnet ist, und wobei den piezoelektrischen Elementen eine Versorgungseinheit zum Laden oder Entladen des piezoelektrischen Elementes zugeordnet ist und wobei überwacht wird, ob eine Überschneidung eines Zeitintervalls, in dem ein piezoelektrisches Element ge- oder entladen wird,

mit einem Zeitintervall, in dem das andere piezoelektrische Element geladen oder entladen werden soll auftritt, dadurch gekennzeichnet, daß eine Einspritzung gleicher oder unterschiedlicher Priorität in Abhängigkeit von Lade- und/Entladeflanken der Einspritzelemente bei einer Einspritzung nach früh und/oder nach spät verschoben und/oder gelöscht werden derart, daß ein piezoelektrisches Element nicht geladen wird, wenn das andere piezoelektrische Element geladen oder entladen werden soll.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Verschiebung in Abhängigkeit von der Priorität der Einspritzungen erfolgt.
8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Verschiebung unabhängig von Priorität der Einspritzungen erfolgt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Verschiebung abhängig von der Art der Überlappung wenigstens zweier Einspritzungen erfolgt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Verschiebung unabhängig von der Art der Überlappung wenigstens zweier Einspritzungen erfolgt.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Verschiebung abhän-

gig vom Typ der Einspritzung (Voreinspritzung, Haupteinspritzung, Nacheinspritzung) erfolgt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Verschiebung abhängig von vorangehenden Verschiebungen erfolgt.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß bei singulären Primär oder Sekundärkollisionen die Verschiebung aufgrund einer der nachfolgenden Maßnahmen erfolgt:
  - a) Verschieben der niederprioren Flanke nach früh, oder
  - b) Verschieben der niederprioren Flanke nach spät, oder
  - c) Verschieben der höherprioren Flanke nach früh, oder
  - d) Verschieben der höherprioren Flanke nach spät, oder
  - e) Verschieben der höherprioren Flanke nach früh, gleichzeitiges Verschieben der niederprioren Flanke nach spät, oder
  - f) Verschieben der höherprioren Flanke nach spät, gleichzeitiges Verschieben der niederprioren Flanke nach früh, oder
  - g) Verschieben der höherprioren Flanke nach spät, gleichzeitiges Verschieben der niederprioren Flanke nach spät, oder

h) Verschieben der höherprioren Flanke nach früh, gleichzeitiges Verschieben der niederprioren Flanke nach früh.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die nicht an der Überlappung beteiligten Flanken nach früh oder spät verschoben werden oder belassen werden.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß bei multipler Primär- oder Sekundärkollision die Verschiebung unter Einhaltung folgender Randbedingungen erfolgt:
- a) jede der überlappenden Flanken kann nach früh oder spät verschoben werden;
  - b) nicht alle überlappenden Flanken müssen verschoben werden;
  - c) nach einer Verschiebung sind die zuvor überlappenden Flanken überlappungsfrei, so daß sich das Zeitintervall, in dem ein piezoelektrisches Element ge- oder entladen werden soll, nicht mit dem Zeitintervall überschneidet, in dem das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll;
  - d) zusätzlich können nicht an der Überlappung beteiligte Flanken nach früh oder spät verschoben werden.

٧٥٤

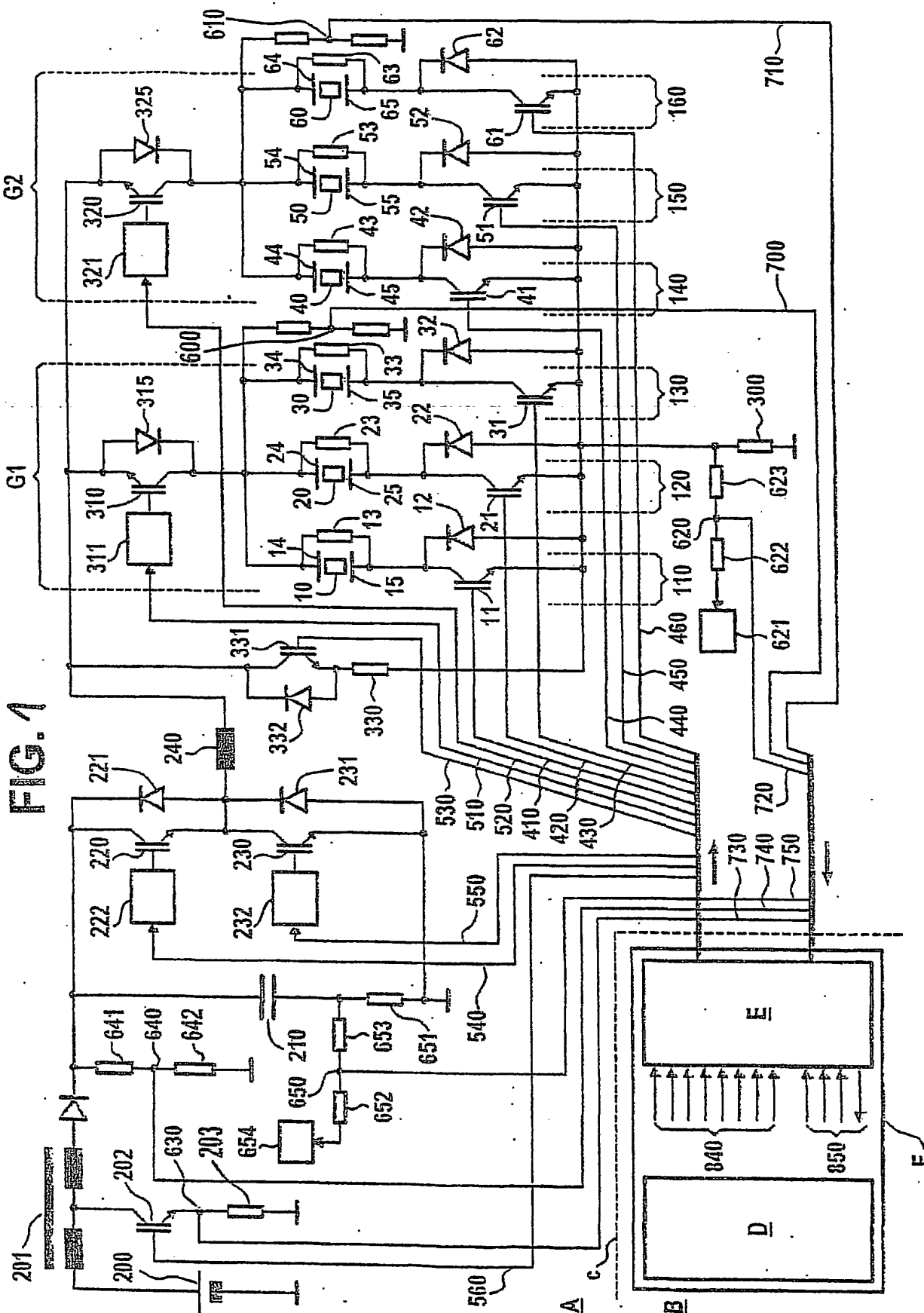


FIG. 2A

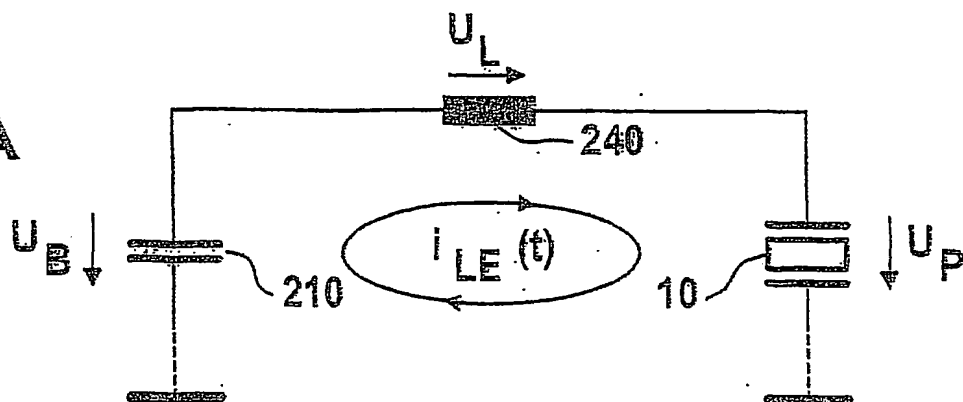


FIG. 2B

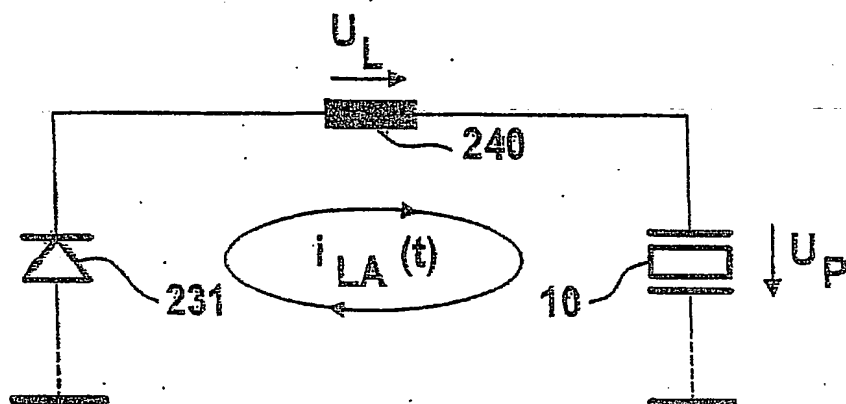


FIG. 2C

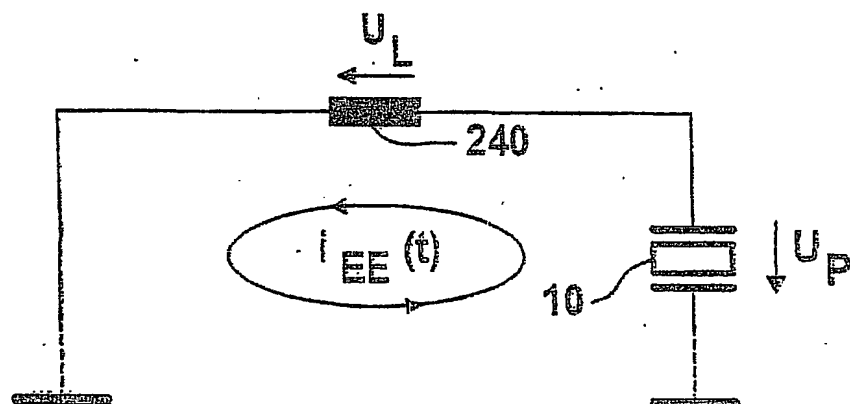
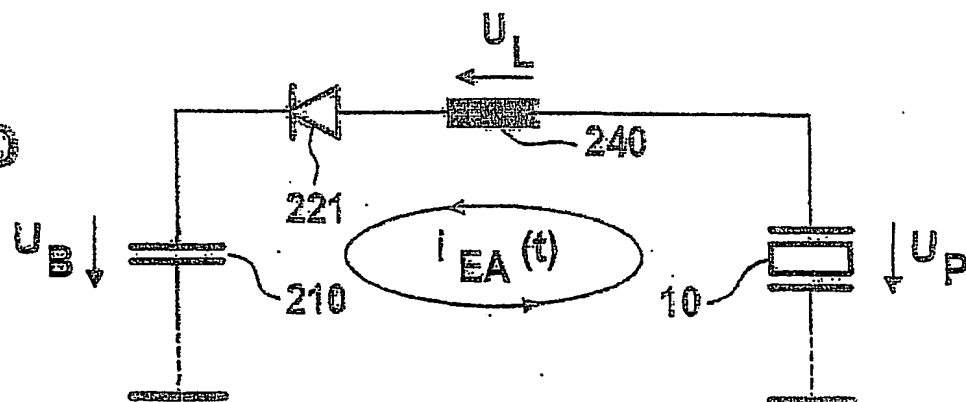


FIG. 2D



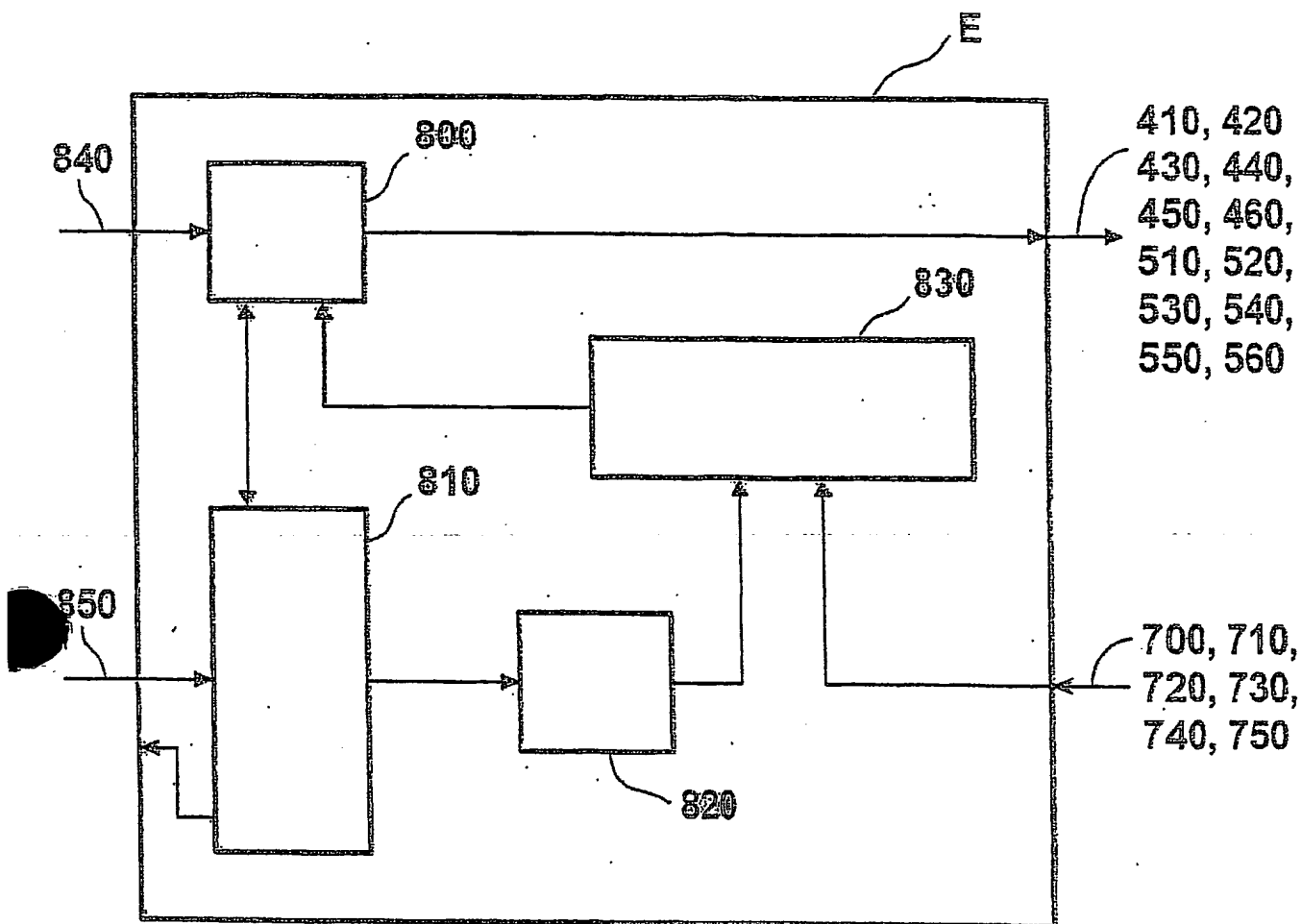


FIG. 3

# Lade- und Entlade flanken einer Einspritzung

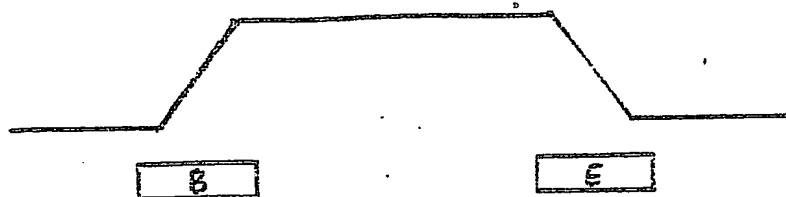


Fig 4

## Kombination überlappender Flanken zweier Einspritzungen

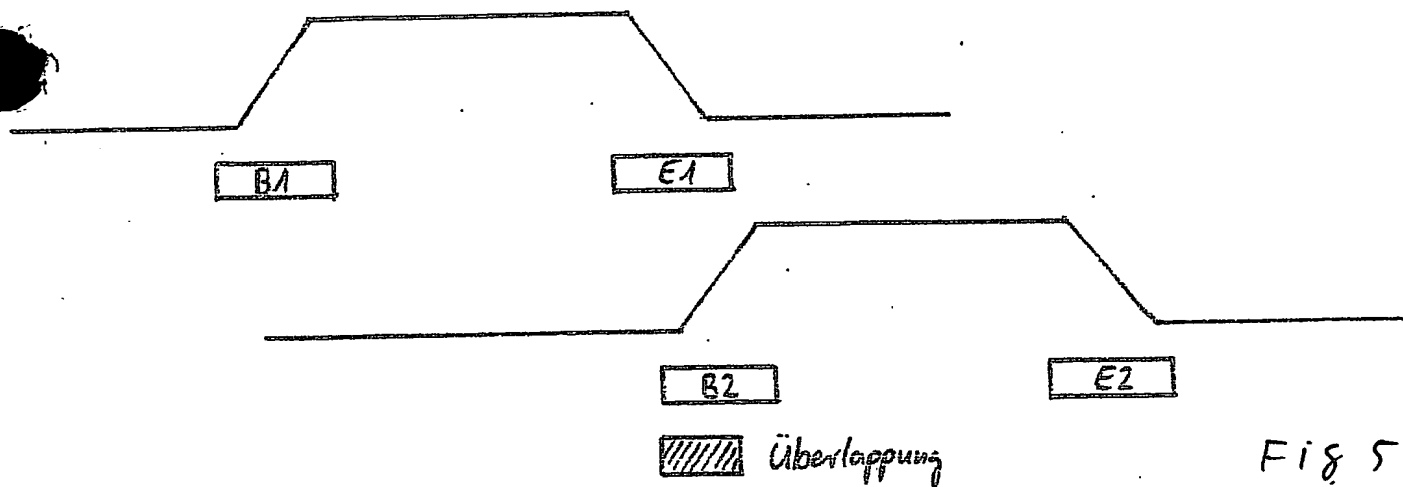


Fig 5

## Beispiele für Zuweisung der Prioritäten

Flanke:

B1 B2 E1 E2

1 2 3 4

nur verschiedene Priorität

1 2 1 2

1 1 2 2

3 3 3 3

} teilweise verschiedene Priorität

gleiche Priorität

Fig 6

(bei 4 Prioritätsstufen sind  $4^4 = 256$  verschiedene Zuordnungen denkbar).



# Maßnahmen bei singulärer Primärkollision

## hochpriorer überlappende Flanke

nach früh  
nach früh  
nach früh  
nach spät  
nach spät  
nach spät  
lassen  
lassen

## niederpriorer überlappende Flanke

nach früh  
lassen  
nach spät  
nach früh  
lassen  
nach spät  
nach früh  
nach spät

⊗ kombiniert mit

## zugehörige komplementäre Flanke der hochprioreren überlappenden Flanke

nach früh  
nach früh  
nach früh  
nach spät  
nach spät  
nach spät  
lassen  
lassen  
lassen

## zugehörige komplementäre Flanke der niederprioreren überlappenden Flanke

nach früh  
nach spät  
lassen  
nach früh  
nach spät  
lassen  
nach früh  
nach spät  
lassen

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**